韓國地形空間情報學會論文集 第1卷 第1號 1993年 6月 pp. 141-152.

GSIS의 자료기반 구축을 위한 SPOT 위성영상으로부터의 수치표고모형 생성

A Generation of Digital Elevation Model for GSIS using SPOT Satellite Imagery

柳 福 模* 朴 弘 祺** 鄭 樹*** 金 元 大***
YEU Bock-Mo PARK Hong-Gi JEONG Soo KIM Won-Dae

要 旨

본 연구에서는 지형공간정보체계의 자료기반의 구축, 수치도면 제작등 이용도가 확대되고 있는 있는 수치표고모형을 수치위성영상자료를 이용하여 제작하고자 하였다. 위성영상의 공액 상좌표 취득에는 영상정합기법을 도입하였으며 취득된 지상좌표의 정확도를 분석하여 수치표고모형 제작의 연산법을 제시하였다.

위성영상의 외부표정요소는 광속조정법을 이용하여 결정하였고 좌우 수치영상상에서 동일점을 탐색하기 위한 영상정합방법으로는 표준상관기법을 적용하였다. 영상정합기법을 적용에 있어서는 기준영역의 크기를 결정하기 위해 기준영역의 크기를 다양하게 변화시켜 적절한 크기를 결정하고자 하였다. 영상정합의 정확도를 향상시키고 계산속도를 증가시키기 위하여 다양한 좌표변환식을 적용하고 이 결과를 통계학적으로 분석한 후 안전율을 고려하여 탐색영역을 결정하였다.

본 연구에서 제작된 수치표고모형의 정확도는 5000분의 1 지형도상에서 일정한 간격으로 추출하여 제작된 수치표고모형을 이용하였으며, 정확도를 평가한 결과 수치위성영상을 이용한 수치표고모형을 생성하는 연산법을 제시할 수 있었으며, 지형공간정보체계의 자료기반 구축에 필요한 대단위 지역에 대한 수치표고모형의 생성에 수치위성영상을 적용하는 효율적인 방법을 제시할 수 있었다.

ABSTRACT

This study aims to generate digital elevation model from digital satellite imagery. Digital elevation model is being increasingly used for geo-spatial information system database developement and for digital map production. Image matching technique was applied to acquire conjugate image coordinates and the algorithm for digital elevation model generation is presented in this study

The exterior orientation parameters of the satellite imagery is determined by bundle adjustment and standard correlation was applied for image matching of conjugate image points. The window as well as the searching area have to be defined in image matching. Different sizes of searching area were tested to study the appropriate size of the searching area. Various coordinate transformation methods were applied to improve the computation speed as well as the geometric accuracy. The results were then statistically analysed after which the searching area is determined with the safety factor.

To evaluate the accuracy of digital elevation model, 3-D coordinates were extracted from 1/5000 scale topographic map and this was compared to the digital elevation model generated from satellite imagery. The algorighm for generation of digital elevation model generated from satellite imagery is presented in this study which will prove effective in the database developement of geo-spatial infomation system and in digital elevation modelling of large areas.

* 연세대학교 토목공학과 교수 ** 경원대학교 토목공학과 조교수 *** 연세대학교 토목공학과 박사과정

1. 서 론

수치표고모형(digital elevation model:DEM)은 2차원 평면상에서 일정한 간격으로 표고를 기록한 것으로 것으로, 그 지역의 한 점에 대한 X, Y 좌표와 격ㄴ자간격에 대한 정보만 있으면 나머지 모든 점들의 X, Y 좌표가 자동적으로 결정되므로 전산기에 입력할 때 기억용량이 상대적으로 적게 소요되며 또한 처리속도도 빠른 장점이 있어 그 이용성이 높다. 또한, 현재 여러 분야에서 응용되고 있는 지형공간정보체계(Geo-Spatial Information System : GSIS)에서도 수치표고모형은 적지분석 및 수해지역 예측 등에 다목적으로 활용되어 필수적인 자료가되고 있으며, 지형의 3차원적 모의관측 등에 응용되고 있다.[1)2)]

SPOT (Le Systéme Probatoire d'Observation de la Terre)위성은 안정된 궤도특성, 높은 공간해상력, 적합한 기선고도비를 갖고 있으며, 다른 궤도에서 경사관측(off-nadir viewing)에 의해 입체영상을 취득할 수 있다. 따라서, SPOT 위성영상은 농림, 수산, 해양, 환경, 지질분야에 종래에는 얻을 수 없었던 새로운 영상자료를 제공함은 물론 소축척 이나 중축척지형도의 제작과 수정 및 접근 불가능한 지역의 위치결정에도 이용할 수 있다.[3)]

최근들어 위성영상을 이용한 위치결정에 대한 연구가 시작되어 유복모, 조기성, 이현직 등에 의해 SPOT 위성사진자료의 외부표정요소 결정방법이 연구된 이래, 정량적인 측면에 대한 연구가 진행되고 있다.[4)5)] 또한, SPOT 위성영상을 이용한 수치표고 모형의 제작에 관한 연구가 대학 및 관련 연구소등에서 진행되고 있으나 아직 그 체계가 미비하여 구체적인 결과를 얻지 못하고 있다.

본 연구에서는 수치위성영상에 의하여 수치표고모형을 생성하기 위한 연산법을 확립하기 위한 기본 해석방법으로 영역적 정합기법 중 표준상관계수 정합기법을 이용하였고, 동적인 위성의 외부표정요소 추정을 위해 해석사진측량의 광속조정법과 주사선 수의 외부표정요소 다항식을 채택하였으며, 지상의 좌표를 계산하기 위하여 공간교선이론을 적용하였다.

본 연구의 관측값분석을 위하여 5,000의 1의 지형도상에서 100m 단위로 3차원 좌표를 취득하여 수치표고모형을 형성하여 위성영상에 자동정합기법에 의해 제작된 수치표고모형과의 정확도를 비교하였다.

2. SPOT 위성체계 및 영상자료의 특성

2. 1 SPOT 위성체계

SPOT 위성은 multimission bus와 다목적 payload 탑재기의 두 부분으로 구성되어 있다. SPOT multimission bus 는 정밀한 위성궤도의 조정, 3 축의 안정성 유지 및 탑재 전산기에 의한 위성의 안정성 감시 등 주로 위성의 자세 및 궤도조절의 기능을 수행한다. 또한, 다목적 탑재기는 두대의 고 해상력 HRV (high resolution visible) 감지기, 취득된 영상의 기록을 위한 자기테이프 기록기(magnetic tape recorder) 및 영상자료를 지상수신소로 전송하기위한 송신장치 등이 탑재되어 있다.[6)]

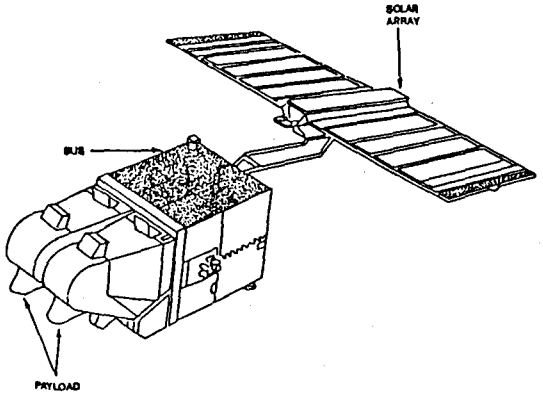


그림 2.1 SPOT 위성의 구성

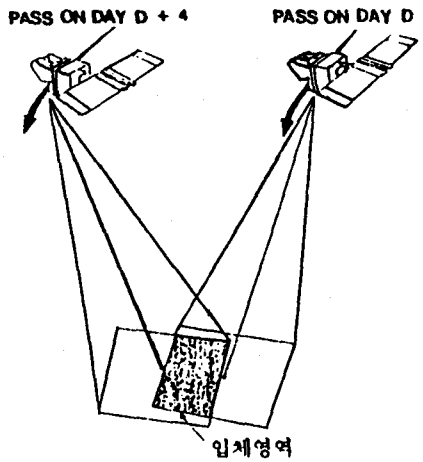


그림 2.2 SPOT 위성영상의 입체시

SPOT 위성은 지상의 모든지역을 규칙적으로 관측하고 영상의 취득시간이 다른 경우에도 태양광의 조건을 근사하게 하기 위해 832 Km의 고도에서 98.7° 경사진 태양 동주기(sun synchronous)의 극궤도운동(near polar orbit)을 한다.[7]

HRV 감지기는 push broom 주사방식의 1,728 요소로 선형배열된 4개의CCD(charge-coupled device)로 이루어져 있으며, 궤도를 따라 위성이 움직이는 동안, 지형에 대해 단일 영상선(single image line)형태로 영상자료를 취득하여 궤도운동이 진행됨에 따라 완성된 표준영상을 얻게 된다. 이와같은 감지방식은 위성체계의 수명을 연장하고 주사경의 진동에 의한 기하학적 왜곡을 제거할 뿐만 아니라 순간시야각(Instanteous Field of View:IFOV) 상에 CCD가 오래 머무를 수 있게 하여 신호 대 잡음비가 증가된 양질의 영상자료를 얻을 수 있게 한다.

또한, HRV 감지기는 적외영역의 다중파장대형(multispectral mode: XS형)및 가시영역의 흑백형(panchromatic mode: P 형)으로 분류된다. 감지기의 시야범위(field of view)는 4.13°로 반사경(strip selection mirror: SSM)의 각도를 +27°~-27° 까지 기울여 수직 및 경사관측을 가능하게 하며, 관측주기를 단축하여 입체영상을 얻을 수 있다.

SPOT 위성의 재회주기(revisit cycle)는 26 일로서 1 일 위성의 회전수는14+5/26 이며, 일주시간은 약 101.4 분이 된다. 따라서, 위성은 26 일동안 369 회 전을 한다.

영상의 기하학적 특성(geometric quality)은 위성의 궤도특성, 전처리수준 및 자료형태에 따라 변화함으로 위치결정의 정확도를 향상시키기 위해서는 영상자료의 기하학적 왜곡요인을 파악하여 보정하여야 한다. 위성영상의 기하학적 특성은 영상자체의 특성만을 다루는 내적 특성과 시야각이나 영상표정자료 등 부수적인 영상보조자료에 포함되는 외적 특성으로 분류된다. 일반적으로 영상의 기하학적 특성은 영상위치 정확도(scene location accuracy), 길이왜곡(length distortion), 비등축사상(anisomorphism) 및 국부적인 부합(local coherence)의 4가지 기준과 파장대간(band to band), 영상취득일 차이(multidate), 관측조건의 불일치에 대한 영상의 취득안정성 등과 관련된 3가지 부수적인 기준에 의해 정의된다.

2. 2 SPOT 위성영상의 전처리수준 및 보조자료

지상에서 수신된 SPOT 위성영상은 위성의 궤도특성과 감지특성에 의해 왜곡된 정보를 포함하고 있다. 따라서, 영상자료는 CCD의 감도차에 의해 발생한 복사왜곡을 보정하기 위한 복사보정(radiometric correction) 및 자료취득시 발생한 기하학적 왜곡을 보정하기 위한 기하보정(geometric correction)과 같은 전처리를 수행하여 사용자에게 제공된다. 이와같은 전처리수준에는 4 종류의 기본처리와 2 종류의 특수처리가 있으며 각 전처리수준에 따라 영상소수, 주사선수 및 기억용량이 달라진다.

본 연구에서 대상으로한 수준 1A(level 1A)영상은 CCD 감지기의 표준화를 위해 cubic 보간 방법에 의한 복사보정을 수행한것 외에는 본래영상에 가장 가깝다.

2. 3 SPOT 위성영상의 CCT 형태 및 보조자료

SPOT 위성영상자료의 또다른 형태인 CCT (Computer Compatible Tape)의 특성은 영상자료의 기록밀도(recording density), SPOT CCT의 화일구성(file origanization), CCT의 코드체계(code schemes), 레코드 길이(record length)으로 정의 된다.[8]

SPOT CCT의 논리적 구조는 Volume Directory 화일, Null Volume Direcyory 화일, 영상화일과 관계되는 보조자료를 포함하는 Leader 화일, 영상화일 및 전처리에 관한 정보가 수록된 Trailer 화일로 이루어진다.

SPOT CCT영상의 물리적 구조는 화일 구성(BIL, BSQ)과 기록밀도(6250, 1600 bpi)에 따라 달라지며, 6250 bpi CCT에 저장되는 단일 볼륨(single-volume)과 1600 bpi volume에 저장되는 다중 볼륨(multi-volume)이 있다.

SPOT 영상 CCT에는 다음과 같은 보조자료(Ancillary Data)들이 수록되어 있으며, 이를 이용하여 위성위치와 광속조정을 위한 입력자료를 산정할 수 있다. 영상보조자료로는 위성위치(Satellite Position x, y,

z), 위성속도(Satellite Velocity x, y, z), 위성자세속도(Satellite Attitude velocity ω, ϕ, κ), 관측시각(Observation time tc), HRV θPE, θPS, θRE, θRS의 관측각, 직접위치모형요소(Direct positioning model factors((F(10) - F(9))x3), 역위치모형요소(Inverse Positioning model factors((G(0) - G(3))x2) 등을 들 수 있다.

3. SPOT CCT 영상을 이용한 수치 표고모형의 생성

3. 1 SPOT 위성영상의 광속조정이론

그림 3.1 에서 임의의 영상선 i에 대한 p점의 공선조건식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_i \\ 0 \\ -f \end{bmatrix} = \lambda R_i \begin{bmatrix} X_i - \bar{X}_{oi} \\ Y_i - \bar{Y}_{oi} \\ Z_i - \bar{Z}_{oi} \end{bmatrix} \qquad (3.1)$$

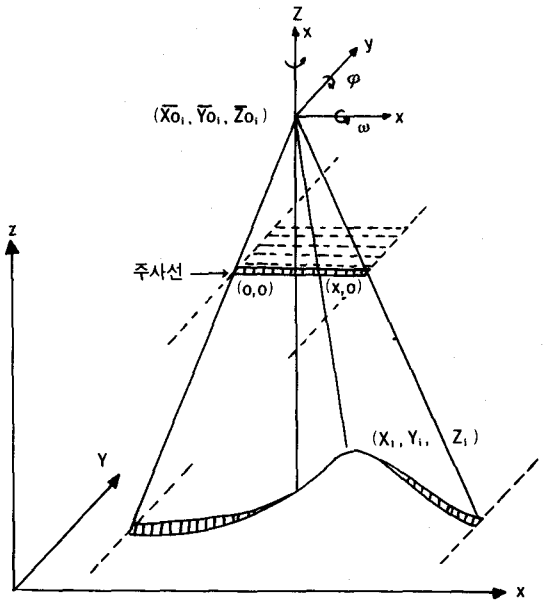
여기서, x_i는 영상선의 영상좌표이며, f는 촛점거리이다. (X_i, Y_i, Z_i)는 P점의 지상기준점좌표이고, $(X_{oi}, Y_{oi}, Z_{oi}, \kappa_i, \varphi_i, \omega_i)$ 는 i영상선의 외부표정요소, R_i는 회전행렬이다. 그러나, 관측자료에 포함된 오차요인에 의해 실제조정에서는 식(3.1)의 함수관계가 일치하지 않으므로 식(3.1)은 다음과 같이 부가매개변수가 고려된 자체검정 광속조정을 위한 함수로 나타낼 수 있다.

$$F(x) = x_i - f\frac{m_{11}(X_i-\bar{X_{oi}})+m_{12}(Y_i-\bar{Y_{oi}})+m_{13}(Y_i-\bar{Y_{oi}})}{m_{31}(X_i-X_{oi})+m_{32}(Y_i-Y_{oi})+m_{33}(Y_i-Y_{oi})} + \Delta x_i = 0$$

$$F(y) = -f\frac{m_{21}(X_i-X_{oi})+m_{22}(Y_i-Y_{oi})+m_{23}(Y_i-Y_{oi})}{m_{31}(X_i-X_{oi})+m_{32}(Y_i-Y_{oi})+m_{33}(Y_i-Y_{oi})} + \Delta y_i = 0 \qquad (3.2)$$

여기서, m_{ij}는 회전행렬의 요소이고, $(\Delta x_i, \Delta y_i)$는 주로 대상지역이 광범위함에 따라 발생되는 지구곡률과 경사변환의 영향을 보정하기 위해 도입된 정오차보정항이다.

식(3.2)를 Taylor 급수전개에 의해 선형화한 후 최소제곱법을 적용하여 조정을 하면 초기값들에 대한 보정해를 구할 수 있다.



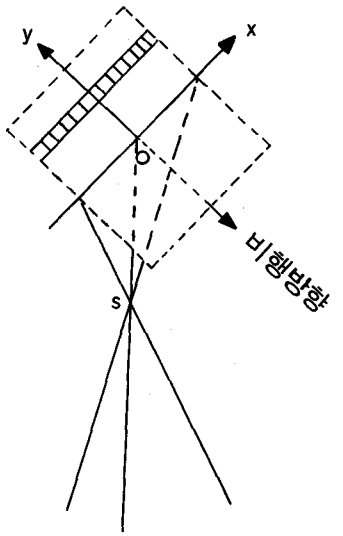


그림 3.1 SPOT HRV의 영상기하

3. 2 위성영상의 외부표정요소결정

3. 2. 1 좌표계의 변환

SPOT 위성체계는 1979년 국제 측지학 및 지구물리학 연맹(International Union of Geodesy and Geophysics : IUGG) 에서 채택된 GRS 80 (Geodetic

Reference System 1980) 좌표계와 유사한 WGS 84 (World Geodetic System 1984) 좌표계를 채택하고 있다. 따라서, SPOT 위성영상을 이용한 위치결정에는 위성체계의 기준좌표계와 우리나라의 측지측량좌표계와 상이함에 따라 좌표계간의 상호변환이 필요하게 된다.[10)11)]

본 연구에서는 국지 및 국제좌표계간의 상호변환을 위해 지심좌표를 이용하는 7 변수의 Molodenski 변환모형과 미국방성지도국(Defence Mapping Agency : DMA)에서 발표한 측지측량좌표로의 직접변환공식을 이용하였다. 이를 이용하여 WGS 84 측지 및 지심좌표계로 제공되는 위성위치, 위성직하 및 영상 모서리좌표는 Bessel 좌표계로 변환한후, 다시 TM 좌표로 변환하여 3차원 위치결정에 이용하였다.

Molodenski 모형을 이용한 측지측량좌표계 변환에 이용되는 변환모형식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta & -\omega_Z & \omega_Y \\ \omega_Z & \Delta & -\omega_X \\ -\omega_Y & \omega_X & \Delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 - X_m \\ Y_1 - Y_m \\ Z_1 - Z_m \end{bmatrix} \tag{3.3}$$

여기서, $(1+\Delta)=S'$: 축척

$\omega_X, \omega_Y, \omega_Z$: 타원체간의 회전 매개변수

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$: 타원체 원점간의 좌표차이

X_1, Y_1, Z_1 : Bessel 타원체상의 좌표

X_2, Y_2, Z_2 : WGS 타원체상의 좌표

X_m, Y_m, Z_m : 기준점의 좌표

이다.

또한, 미국방성지도국에서는 다중회귀 방정식 (multiple regression equation)에 의해 지심좌표계로의 변환과정을 거치지 않고 직접 측지측량좌표계로 변환할 수 있는 변환공식을 발표하였다. 본 연구에서 이용되는 WGS 84 측지측량좌표로 부터 국지 측지측량좌표를 구하는 변환공식은 다음과 같다.

$$\left.\begin{aligned} \varphi_{BESSEL} &= \varphi_{WGS84} - \Delta\varphi'' \\ \lambda_{BESSEL} &= \lambda_{WGS84} - \Delta\lambda'' \\ h_{BESSEL} &= h_{WGS84} - \Delta h m \end{aligned}\right\} \tag{3.4}$$

측지측량좌표에서 평면직교좌표로의 변환은 측지측량좌표로 변환한 위도 및 경도 (φ,λ)를 횡메르카토르 투영법에 의하여 평면직교좌표 (X,Y)로 변환하기 위해 수행된다.

우리나라의 평면직교좌표 원점은 북위 38°를 기준으로 동경 125°, 127°, 129°에 가상적으로 설정되어 있으며, 본 연구에서는 동경 127°를 기준으로 하는 중부원점을 중심으로 지상기준점 및 영상보조자료를 변환하였다.

Bessel 측지측량좌표(φ,λ)를 TM 좌표(X,Y)로 변환하는데 이용된 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X = m_0 [\, & B + (N \Delta\lambda^2/2) \sin\varphi \cos\varphi \\ & + (N \Delta\lambda^4/24) \sin\varphi \cos^3\varphi (5 - \tan^2\varphi + 9\eta^2 + 4\eta^4) \\ & + (N \Delta\lambda^6/720) \sin\varphi \cos^5\varphi (61 - 58\tan^2\varphi + \tan^4\varphi \\ & + 270\eta^2 - 330\eta^2 \tan^2\varphi)] \end{aligned} \tag{3.5}$$

$$\begin{aligned} Y = m_0 [\, & N \Delta\lambda \cos\varphi + (N \Delta\lambda^3/6) \cos^3\varphi (1 - \tan^2\varphi + \eta^2) \\ & + (N \Delta\lambda^5/120) \cos^5\varphi (5 - 18\tan^2\varphi + \tan^4\varphi \\ & + 14\eta^2 - 58\eta^2 \tan^2\varphi)] \end{aligned}$$

여기서, $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$ (라디안 단위 : λ_0 는 평면직교좌표 원점의 경도)

$\eta = e \cos\varphi / (1 - e^2)^{1/2}$

$m_0 = 1.0000$: 좌표원점에서의 선증대율

$N = a/(1 - e^2 \sin^2\varphi)^{1/2}$: 횡곡률반경

B : 적도로부터의 자오선호장

$$= a/(1 - e^2)(A_1 - A_2 \sin 2\varphi/2 + A_3 \sin 4\varphi/4 - A_4 \sin 6\varphi/6 + A_5 \sin 8\varphi/8 - A_6 \sin 10\varphi/10)$$

$A_1 = 1.005037$ $A_2 = 5.047849 \times 10^{-3}$

$A_3 = 1.056378 \times 10^{-5}$ $A_4 = 2.063332 \times 10^{-8}$

$A_5 = 3.885360 \times 10^{-11}$ $A_6 = 7.002859 \times 10^{-14}$

3. 2. 2 외부표정요소의 초기값

외부표정요소에 대한 초기값 결정은 위성사진의 주석부분에 제공되는 자료를 이용하는 방법과 수치영상의 header 자료에 포함된 영상보조자료를 이용하는 방법으로 대별된다.

위성위치의 초기값은 선행화일의 header 자료에서 WGS 84 지심좌표체계로 제공되는 60 초 간격의 9 개 위성위치 추산자료중, 영상중심의 주사시간과 근접하는 3 개의 위성위치를 다항식의 형태에 따라 보간하여 결정하였다. 또한, 위성자세에 대한 초기값은 영상표정(γ)을 κ_0로 탐측기의 경사각은 ϕ_0로 이용하였

으며 ω_0는 0°로 설정하여 radian값으로 변환하였다.

표 3.1 외부표정요소의 초기값

외부표정요소	좌측영상	우측영상
Xo	168,987 m	590,452 m
Yo	337,715 m	273,729 m
Zo	827,732 m	813,746 m
κo	-0.1988r ad	-0.1436 rad
φo	-0.0980 rad	0.4567 rad
ωo	0.0 rad	0.0 rad
K4	2.41 m	1.93 m
K5	9.73 m	9.86 m
K6	0.02 m	0.02 m

3. 3 수치표고모형의 생성

3. 3. 1 영상상관정합기법

영상정합은 영상의 순차적 해석, 항공삼각측량 및 입체쌍의 영상으로 부터 3차원 기하학적 정보의 추출 등 여러면에 걸쳐 필요로 하고 있는 기법이다. 정합이란 좌우 두 영상사이의 계조 값을 비교하여 공통되는 점을 결정하는 것을 말하며, 가능한 한 원영상의 계조분산과 유사한 계조분산의 입체쌍 상에서 결정한다.[12)]

영상정합은 분류기준에 따라 여러가지로 분류될 수 있으나, 일반적으로 영상의 각 상응점부근의 밝기 강도에 근거한 영역적 정합과 점, 선, 면 등의 특징적 형태를 정합하는 특징적 정합으로 나눌 수 있다. 영역적 정합은 원영상 그대로를 이용하는 반면 특징적 정합은 zero-crossing등의 개념을 도입, 연산자로써 처리한 영상을 이용한다.[13)]

본 연구에서는 여러가지 정합기법중 원영상을 그대로 사용하여 정합을 실시하는 영역적 정합에서의 영상상관정합기법을 적용하였다.

영상상관정합은 영역적정합에 있어 가장 간단한 방법으로, 영상상에서의 계조값을 이용하며, 기준영역 및 탐색영역을 형성하여 취득한 상관계수를 정합의 기준으로 영상상의 임의의 점을 정합하는 것을 말한다. 여기서, 탐색영역의 크기는 외부표정의 인지정도여부에 좌우되며 표고차에 의해서도 영향을 받는다. 또한, 대응점은 기준영역의 중앙영상소를 선택하거나, 가장 유사한 탐색영역를 사용한다.

상관기법은 x,y 두 신호의 거동상에서 유사성을 통계적으로 관측하는 것으로, 상관계수 r_{xy}와 공분산 cov_{xy}에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$r_{xy} = \frac{cov_{xy}}{S_x S_y}, \quad -1 \le r \le 1 \qquad (3.6)$$

여기서, S_x, S_y는 각각 신호 x,y의 표준편차를 의미하고, 상관계수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{\left[\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2 \sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2\right]^{1/2}} \qquad (3.7)$$

따라서, 상관계수를 통하여 두 신호 x, y사이의 선형상관성을 알 수 있다.

3. 3. 2 자동정합기법의 적용 및 지상좌표의 결정

자동정합기법에서는 영역에 대한 영상소값들을 비교하기 때문에 1영상소에 해당하는 지상면적들이 비슷해야 하며 검색영역도 규칙적으로 움직여야하므로, 일반적으로 정합을 실시하기전에 정합 진행방향을 예측하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 affine변환식, psedoaffine변환식, 2차다항변환식, 3차다항변환식, 평면투영변환식을 각각 적용하여 본 연구대상지에 적합한 변환식을 선정하였다.

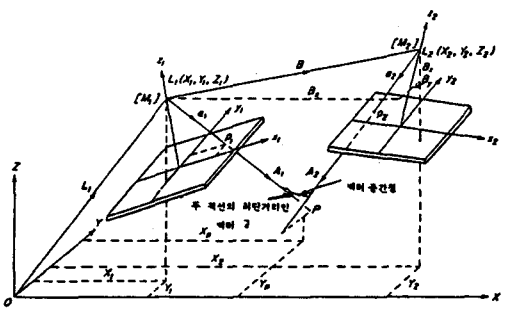


그림 3.2 공간교선이론

지상좌표의 결정은 공간교선(space intersection) 이론에 의하여 계산을 하였다. 즉, 그림 3.2에서 보는

바와 같이 자동정합으로 동일점 p1, p2를 찾았을 경우 그 때의 투영중심 L1, L2에 의하여 두개의 직선이 형성된다. 이론적으로 두 직선이 한 점에서 만나야 하지만, 일반적으로 외부표정요소의 결정시나 정합위치결정에서 피할수 없는 오차들로 인하여 두 직선은 서로 교차하지 않는다.[14]

따라서 실제에 있어서는 두 직선의 최단거리인 벡터 $\vec{d}$를 찾아 이것의 중간점을 교차점으로 간주하여 지상좌표를 계산한다.

$\vec{d}$는 두 직선에 수직인 벡터이므로 $\vec{a_1}$와 $\vec{a_2}$의 외적으로 표현된다. 즉,

$$\vec{d} = \vec{a_1} \times \vec{a_2} \tag{3.8}$$

식 (3.8)은 다시 식 (3.9)로 표현된다.

$$\begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ u_1 & v_1 & w_1 \\ u_2 & v_2 & w_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1w_2 - v_2w_1 \\ u_1w_2 - u_2w_1 \\ u_1v_2 - u_2v_1 \end{bmatrix} \tag{3.9}$$

여기서 $\vec{i}$, $\vec{j}$, $\vec{k}$는 X, Y, Z 방향의 단위벡터이며,

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \end{bmatrix} = {M_1}^T \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ -f \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} u_2 \\ v_2 \\ w_2 \end{bmatrix} = {M_2}^T \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ -f \end{bmatrix} \tag{3.10}$$

식(3.10)에서 M1, M2 는 회전행렬로서 외부표정요소에 의해 구할 수 있으므로, 식(3.43)에 의해 $\vec{d}$를 구할 수 있다. 또한 실제로 구하고자 하는 점 P의 지상좌표 (Xp, Yp, Zp)는 식(3.47)에 의해 구해진다.

$$\vec{p} = \vec{L_1} + \lambda_1 + \vec{a_1} + 1/2\ k\ \vec{d} \tag{3.11}$$

이 방법은 근사적인 방법이지만 실용적인 변에서 가장 많이 이용된다. 엄격한 해를 구하기 위하여 공선조건식을 이용한 최소제곱법을 사용하기도 하지만 계산시간이 많이 소요되며 반복계산을 요구하므로 주로 셋이상의 직선을 교차시킬 때 사용한다.

4. 관측값 해석

4. 1 해석대상지역 및 수치영상의 특성

본 연구에서 이용된 해석대상지역은 표준영상이 포함하고 있는 충청남북도 일대의 전체영역중 CRT 모니터상에서 출력하기에 적절한 위도 N 36° 19′ 30″ ~ 36° 16′ 30″, 경도 E 127° 25′ 30″ ~ E 127° 28′ 30″에 위치한 대전직할시 일대의 약 4km x 4km 의 지역을 포함하고 있다.

본 연구에 이용된 수치영상은 전처리 수준이 수준 1A인 CCT 형태의 위성영상으로 이들 영상은 SOPT-1 위성에 의해 취득되었다. 영상은 위치결정에 적합한 흑백 P형자료이며, 전체 6,000 x 6,000 영상소의 전체영상 중에서 그림 4.1에서 보는 바와 같이 해석대상지역을 포함하고 있는 440 x 440 영상소 크기의 좌측 기준영상과 기준탐색영역을 고려한 600 x 600 크기의 우측영상을 이용하였으며, 각 영상의 특성은 표 4.1과 같다.

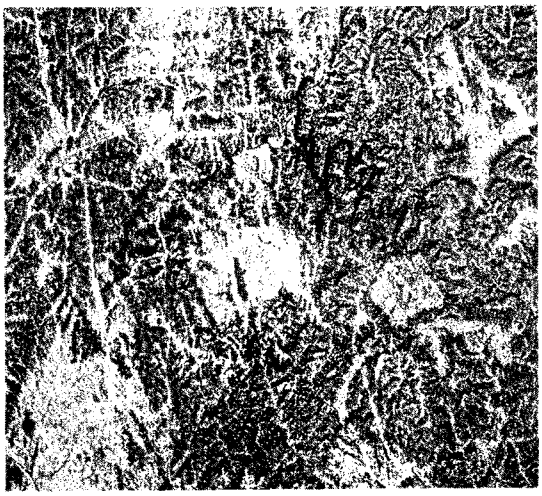
또한 좌우영상의 관측 당시의 조건을 추정하기 위하여 광속조정법을 이용하여 외부표정요소를 결정하였다.

수치영상의 header file 을 해석하여 위성의 외부표정요소 초기값을 결정하였으며, 이 값을 자체검정에 의한 광속조정법 알고리즘을 이용하여 외부표정요소를 표 4.2와 같이 결정하였다.

표 4. 1 수준 1A 수치영상자료의 주요특성

	좌 측 영 상	우 측 영 상
위 성 명	SPOT 1	SPOT 1
탐 측 기 명	HRV 2	HRV 1
전 처 리 수 준	1A	1A
자 료 형	PAN	PAN
영 상 중 심 좌 표 (C_0)	N36° 22′ 02″ E127° 25′ 41″	N 36° 22′ 02″ E127° 25′ 08″
위 성 고 도	829875.9m	829741.3m
경 사 각 (α)	L 5° 37′	R 26° 10′
영 상 표 정 각	11° 23′ 29″	8° 13′ 42″
영 상 획 득 일	1987. 11. 29.	1987. 11. 30
기 록 형 식	DPCM BIL	DPCM BIL
태 양 각 (방위) (고도)	AZ166° 28′ EL 31° 16′	AZ166° 20′ EL 30° 00′

(a) 수준 1A 좌측영상



(b) 수준 1A 우측영상

그림 4.1 SPOT 위성영상자료의 형태

표 4. 2 연구 대상 위성영상자료의 외부표정요소

구 분	항 목	외부표정요소 다항식
좌측영상	ωL	-0.01656972-2.319102 E -07 Y
	φL	-0.09387903-1.699194 E -07 Y
	κL	-0.19540109+1.611293 E -07 Y
	XL	153121.359+ 2.31763 Y
	YL	302905.528+ 9.91512 Y
	ZL	827783.064+ 0.04720 Y
우측영상	ωL	0.03897639+2.564942 E -07 Y
	φL	0.46715474+5.446009 E -07 Y
	κL	-0.15626492+2.000543 E -07 Y
	XL	638838.165+ 2.35622 Y
	YL	257496.916+ 9.59564 Y
	ZL	806708.299+ 0.33499 Y

4. 2 평면좌표 변환식의 결정

본연구에서는 영상에 대한 영상정합을 실시하는데 있어서 계산시간을 단축하고 영상정합 정확도의 향상을 위하여 좌우 영상간의 기하조건을 맞추기 위하여 두 영상간의 좌표변환을 실시하였다.

본 연구에서는 사진측정학에서 일반적으로 쓰이는 affine변환식, psedoaffine변환식, 평면투영변환식, 2차 다항변환식 및 3차다항변환식에 대한 좌표변환을 각각 적용하여 영상에 대하여 좌표변환후 잔차가 가장 적은 변환식을 채택하였다. 좌표변환식을 결정하기 위한 상좌표 기준점으로 상하좌우 80 영상소간격으로 영상전반에 걸쳐 고루 분포된 25개의 기준점을 IMAGINE 영상처리 팩키지를 이용하여 육안으로 동일점을 탐색하여 영상소단위로 상좌표값을 취득하였다.

본 연구 대상지역에 대해 각 좌표변환식을 적용한 결과 표 4.3과 그림 4.2에서 보는 바와 같이 3차 다항변환식을 적용한 결과에서 단위경중률의 분산값이 가장 작음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 3차 다항 변환식을 적용하므로서 두 영상의 기하학적 관계를 설정하고 탐색의 정확도 및 속도를 향상시키고자 하였다.

표 4.3 좌표변환식 적용에 따른 정확도 비교

방 법	단위경중률의 분산값
Affine 변환	9.726755
Psedoaffine 변환	4.44063
평면투영변환	6.069896
2차 다항식 변환	3.346275
3차 다항식 변환	3.588482

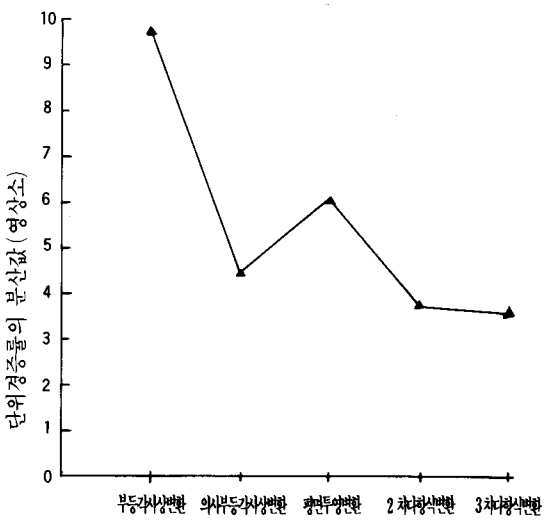


그림 4. 2 좌표변환식 적용에 따른 정확도

4. 3 기준영역 및 한계상관계수의 결정

본 연구에서는 표준상관기법에 의하여 대상지역 영상을 정합하는데 있어서 적합한 기준영역의 크기와 한계 상관계수값을 결정하기 위하여 기준영역의 크기와 한계 상관계수값을 다양하게 변화시켜 정합에 적합한 값들을 구하였다.

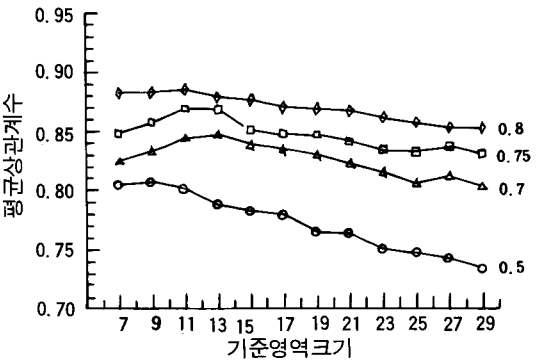


그림 4. 3 기준영역과 한계 상관계수에 따른 평균상관계수값 비교

본 연구에서 기준영역 및 한계 상관계수값을 각 경우에 대하여 비교하기 위하여 영상정합을 대상영역에 대하여 80 영상소 마다 실시하였으며, 영상정합으로 구해진 정합점은 총 25점으로 영상전반에 걸쳐 고루분포되게 하였다. 기준영역의 크기는 7 x 7에서 29 x 29 까지, 한계 상관계수의 값은 0.5, 0.7, 0.75 및 0.8로 각각 단계적으로 변화시켜 상관계수의 값이 가장 크게 나타나는 경우 기준영역과 한계 상관계수의 값을 채택하였다.

표 4.4와 그림 4.3에서 보는 바와 같이 한계 상관계수값이 커질수록 평균상관계수값은 증가하는 추세를 보였다. 그러나, 기준영역의 크기에 대하여서는 11 x 11일 때를 정점으로 하여 기준영역의 크기가 증가할 수록 평균상관계수의 값은 감소하는 추세를 보였다.

따라서 본 연구에서는 기준영역의 크기를 11 x 11로 설정하고 한계 상관계수의 값은 0.8로 설정하여 영상정합을 실시하였다.

표 4.4 기준영역과 한계 상관계수에 따른 평균상관계수값

한계상관계수 / 기준영역크기	0.50	0.70	0.75	0.80
7 × 7	0.804331	0.824950	0.848571	0.882523
9 × 9	0.807231	0.833443	0.857205	0.882982
11 × 11	0.801500	0.844509	0.869174	0.885793
13 × 13	0.787854	0.846894	0.868683	0.878497
15 × 15	0.782400	0.838736	0.851202	0.876566
17 × 17	0.779301	0.835700	0.847358	0.870303
19 × 19	0.764202	0.830230	0.846755	0.868550
21 × 21	0.763202	0.822312	0.841313	0.867653
23 × 23	0.750948	0.815233	0.833217	0.861165
25 × 25	0.747452	0.805790	0.832598	0.857074
27 × 27	0.742446	0.812115	0.837137	0.852701
29 × 29	0.733992	0.803160	0.829726	0.852485

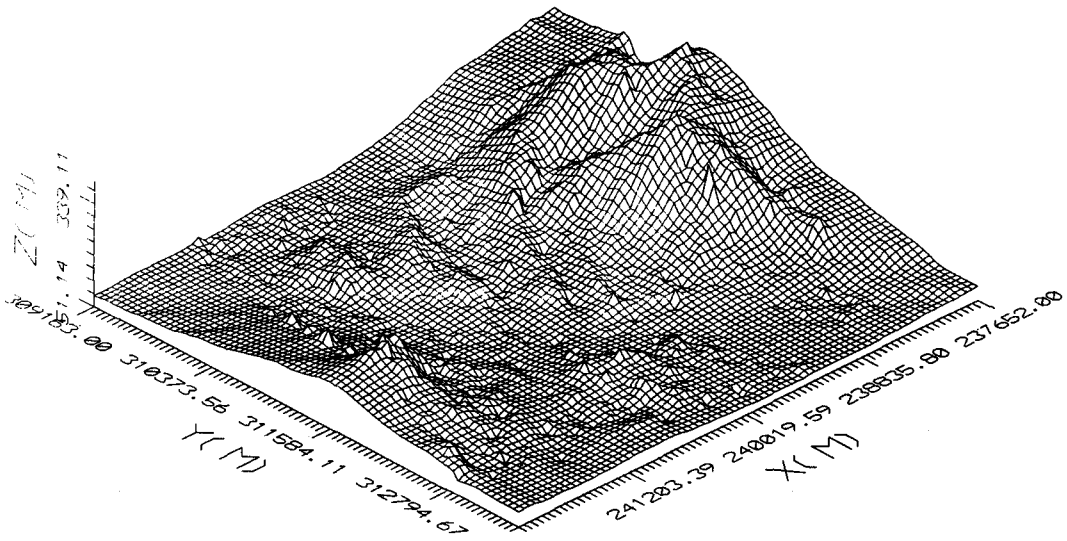


그림 4.4 정합기법에 의해 생성된 수치표고모형의 3차원 모형

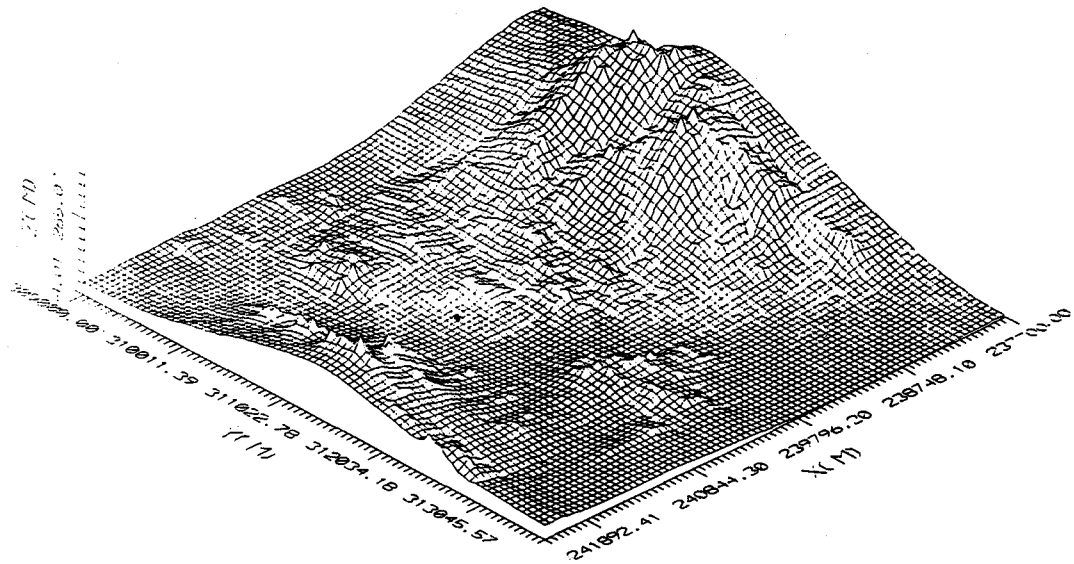


그림 4.5 1/5,000 지형도에서 추출한 수치표고모형의 3차원 모형

4. 4 영상정합에 의해 생성된 수치표고 모형의 정확도 평가

좌우 전체영상에서 400 x 400으로 절취된 대상지역에 대하여 4.3절에서 기술된 바와 같이 기준영역 11 x 11, 한계 상관계수 0.8로 영상정합을 실시하였다. 또한, 탐색영역의 크기는 변환모형식에서 산정된 계수의 표준편차와 안전률을 고려하여 좌우상하 각각 10 영상소의 크기로 결정하였다.

영상정합을 실시하는데 있어서 계산속도와 처리용량을 고려하고 중복되어 정합이 이루어지지 않도록 5 영상소마다 한점씩에 대하여 영상정합을 실시하였다.

영상정합의 결과로 얻어진 정합점은 총 대상점 6,400점 중에서 3,774점이었으며, 정합의 결과 나타난 평균상관계수의 값은 0.882402이었다. 영상정합을 실시한 후에 정합이 되지 않은 점들에 대해서는 거리경중률법으로 누락된 표고를 구하였다.

정합기법에 의해서 생성된 수치표고모형의 정확도를 비교하기 위하여 5,000분의 1 지형도 상에서 지상거리 100 m 간격으로 연구대상지역을 포함하는 수치표고모형을 생성하였다. 이에 의해 생성된 수치표고모형의 3차원 및 등고선도는 각각 그림 4.4 - 그림 4.7에 나타나 있다.

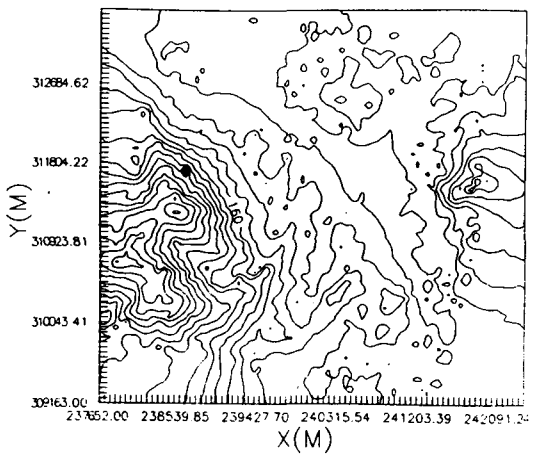


그림 4.6 정합기법에 의해 생성된 수치표고모형의 등고선도

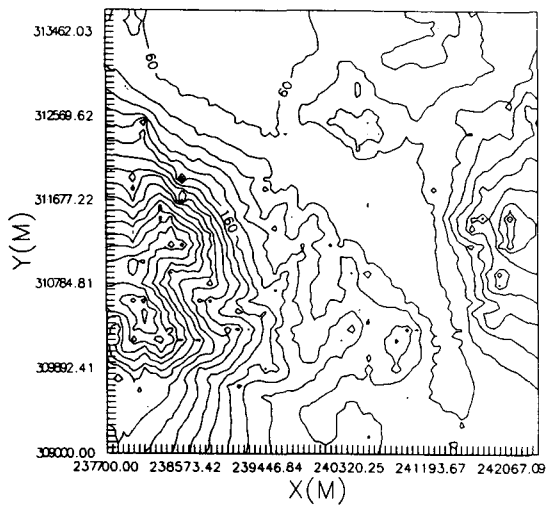


그림 4. 7 1/5,000 지형도에서 추출한 수치표고모형의 등고선도

그림 4.4, 그림 4.5 과 그림 4.6, 그림 4.7에 각각 나타나 있는 두 개의 수치표고모형을 비교한 결과 동일한 지점에 대한 표고의 평균제곱근 오차는 19.8318 m 로 나타났다. 이 결과는 50,000 분의 1지형도상에서 주곡선의 간격이 20 m 인 것을 고려하면 본 연구를 통해서 생성된 수치표고모형의 정확도가 50,000분의 1 지형도와 유사한 결과를 가진다는 것을 알 수 있다.

정합기법에 의해 생성된 수치표고모형이 가지고 있는 오차의 원인으로는 관측당시의 위성의 자세 및 조건을 나타내는 외부표정요소를 결정할 때에 발생하는 피할 수 없는 오차와 영상정합시 동일점이 아닌 인접점에 정합이 이루어지므로 인하여 발생하는 오차로 사료된다.

따라서 더욱 정밀한 수준으로 수치표고모형을 생성하기 위해서는 관측 당시 위성의 자세와 관측 조건을 나타내는 외부표정요소의 정확한 산정과 정합진행방향 및 탐색 영역의 정확한 예측이 필요하다. 또한 정합을 수행하는 데 있어서 상관계수와 동일점으로 정합에 관한 연구가 필요하다고 할 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 SPOT 수치위성영상자료를 이용하여 수치표고모형을 만들기위한 연구로서, 수치표고모형을 만들기 위해 위성의 외부표정요소를 결정하고, 위성영상에 대한 평면좌표를 변환하고 영상정합을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, SPOT 위성영상을 이용하여 수치표고모형을 생성하는 알고리즘을 제시할 수 있었으며, 지형공간정보체계의 자료기반 구축, 정사투영영상 제작 등에 필요한 대단위 지역에 대한 수치표고모형의 생성에는 수치위성영상을 적용하는 것이 효율적이라는 것을 알 수 있었다.

둘째, CCT 형태의 위성영상을 이용하여 정합기법을 적용, 수치표고모형을 생성한 결과, 50,000분의 1 지형도에 근사한 정확도의 수치표고모형을 생성할 수 있었다.

세째, 표준상관기법을 적용하여 영상정합을 실시하는 경우, 기준영역의 크기를 7 x 7 에서 29 x 29 영

상소 크기까지 변화를 시키고 한계 상관계수 값을 0.5, 0.7, 0.75 및 0.8로 변화를 시켜 표준상관계수를 구한 결과 기준영역 11 x 11, 한계 상관계수 값은 0.8이 가장 적합한 값임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 국방과학연구소의 장기기초연구과제(사업과제;90040119)에 의해 이루어졌으며 연구지원에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 유복모, 사진측정학, 문운당, 1991, pp.408-417.
2. 유복모, 지형공간정보체계, 동명사, 1993, pp. 1-25.
3. Begni, G. and P. Henry, " The SPOT1 Image Quality:Two years of Experience ", *ISPRS,Kyoto, Commission I*, 1988,pp. I-103~I-112.
4. 조기성, "SPOT 위성영상의 외부표정요소 결정에 관한 연구", 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1991.
5. 유복모, 이현직, 박홍기,"SPOT 위성영상용 번들 조정에서 지상기준점획득방법에 따른 정확도 분석 ", 대한토목학회논문집, 제 11권 4호, 1991, PP. 151-162.
6. *CNES and SPOT IMAGE, SPOT User's handbook*, vol I,II, reference manual,1987, France.
7. *CNES, SPOT Design Manual*, Toulouse, 1981, France.
8. Gugan, D. J., "Practical Aspects of Topographic Mapping from SPOT Imagery", *Photogrammetric Record*, Vol.12 , No.69, 1987, pp.349-355.
9. 유복모, 조기성, 이현직, "SPOT 위성영상을 이용한 3차원위치결정의 정확도 향상에 관한 연구 ", 대한토목학회 논문집, 제 11권 4호,1991, PP. 163-170.
10. 유복모, 측량학원론(I), 개문사, 1986, pp.172-173.
11. 유복모, 측량학원론(II), 개문사, 1989.
12. Begni, G. and B.Leger, " In-Flight Refocusing Method for the SPOT HRV Cameras", *P.E. & R.S.*, Vol. 50, No. 12, 1984, pp. 1697 - 1705.
13. Gerard Begni, " Selection of the Optimun Spectral Bands for the SPOT Satellite", *P.E. & R.S.*, Vol. 48, No. 10, 1982, pp. 1613-1620.
14. Moffitt, F., Mikhail, E., *Photogrammetry*, 3ed, Happer & Row Publishers, 1980